

ОТЗЫВ

на диссертационную работу Со Тхурейн на тему «**РЕАГЕНТНО-МЕМБРАННОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.15. Мембраны и мембранная технология (технические науки)

Актуальность работы

Жесткость воды справедливо рассматривается в качестве фактора, не только препятствующего использованию воды в промышленных и бытовых целях, но и серьезным образом осложняющего сам процесс водоподготовки. Поэтому любые исследования, имеющие своей целью разработку методов, позволяющих повысить показатели экономической эффективности и технологической устойчивости процедур, добиться снижения содержания солей жесткости в водных средах, следует рассматривать актуальными на современном этапе, особенно для специфических условий обработки водно-спиртовых растворов.

Анализ содержания диссертации

Диссертация включает введение, 3 главы, заключение, список литературы и приложение. Работа изложена на 147 страницах, содержит 71 рисунок, 17 таблиц и 1 приложение.

Во **Введении** приводятся обоснование актуальности темы диссертации, общая характеристика работы, излагаются ее научная новизна и практическая значимость, формулируются цели и задачи работы.

В **Главе 1** содержится обзор научно-технической информации, относящейся к вопросам борьбы с жесткостью исходных вод, применяемых в технологических процессах. При этом сделан акцент на проблемы, возникающие в газодобывающей отрасли, а также на возможности использования баромембранных технологий для решения поставленной задачи.

В **Главе 2** изложены основные методы и подходы, применяемые при выполнении рассматриваемой диссертационной работы. Представлены результаты аналитических исследований состояния модельных растворов, характеристик твердой фазы, образующейся в результате осаждения фосфатов кальция и магния, описаны разработанная методика экспериментальных исследований и установка для ее реализации.

Глава 3 посвящена изложению результатов экспериментальных исследований и разработке на основе их анализа ассоциирующих добавок, выбору мембран и оптимизации гидродинамических параметров процесса разделения модифицированного водно-метанольного раствора (ВМР) и параметров ИК-облучения для стабилизации двухфазных систем, а также технологической схемы промышленной установки, позволяющей не только снизить жесткость ВМР, но и утилизировать образующийся концентрат.

В **Заключении** диссертационной работы перечисляются основные результаты, полученные в процессе проведенных исследований:

- 1) возможность обеспечить остаточную жесткость ВМР в пределах 0,2 мг/дм³ при применении тринатрийфосфата в качестве осадителя в технологии реагентно-мембранного разделения;
- 2) оптимизировано соотношение параметров технологического процесса при проведении химической модификации растворов, позволяющих минимизировать потери метанола и повысить эффективность умягчения;
- 3) технология микрофльтрации подтвердила свою эффективность для рассматриваемого случая, а разработанные рекомендации способствовали снижению эффекта осадкообразования на мембранной поверхности; предложены методы, позволяющие оптимизировать процессы кристаллизации в условиях реагентной обработки и снизить риски негативного влияния концентрационной поляризации на проницаемость пористой мембраны;
- 4) продемонстрировано положительное влияние ИК-облучения на процесс минимизации осадкообразования на поверхности мембран в том числе и за счет разрыхления твердой фазы;
- 5) разработана принципиальная технологическая схема автономной мобильной промышленной установки, позволяющая оптимизировать процессы фильтрования и концентрирования в условиях высокой концентрации метанола;
- 6) предложены технические решения для утилизации образующихся в процессе умягчения ВМР концентратов и их трансформации в «медленные» фосфорные удобрения.

Практическая значимость

Выполненная работа имеет ярко выраженную практическую направленность на поиск оптимальных решений по умягчению водно-

метанольных растворов в газодобыче. Предложенные технические решения оригинальны, носят комплексный характер и позволяют не только обеспечить максимальную степень извлечения метанола из жестких ВМР, но и утилизировать образующиеся твердофазные отходы фосфатов кальция и магния.

Отрадно, что в отличие от многих исследователей, полагающихся на косвенные методы измерения гранулометрического состава, диссертант проконтролировал результаты DLS прямыми оптическими исследованиями, позволившими подтвердить корректность измерений гранулометрии фосфатов кальция и магния (поскольку в общем случае метод динамического светорассеяния, основанный на однопараметрическом подходе, справедлив только для определения размеров частиц сферической формы).

Достоверность и обоснованность результатов

Для получения результатов исследований в процессе выполненной работы были задействованы современные физико-химические методы и аналитическое оборудование, поэтому их следует считать достоверными и обоснованными, в том числе и потому что они не противоречат известным литературным данным и базовым законам физики.

По теме диссертации опубликовано 12 работ, включая 3 статьи в журналах, входящих в перечни Scopus, Chemical Abstracts и GeoRef, а также 2 статьи в прочих изданиях и 7 тезисов докладов на конференциях.

В качестве недостатков анализируемой работы можно отметить следующие:

- использование не принятой в научно-технической литературе терминологии: "fouling" - для обозначения осадкообразования на микрофильтрационной мембране в условиях фильтрования высокодисперсных суспензий; "ассоциаты и частицы", "коллоидные наночастицы"- для обозначения твердофазных структур, формируемых в процессе кристаллизации; «безхимические методы»
- при рассмотрении технологий, позволяющих минимизировать потребление реагентов;
- схематичность в описании аналитических и экспериментальных методик: отсутствуют пояснения относительно калибровки прибора в методе DLS (что может увеличить ошибку измерения размера и заряда частиц) и применения метода лазерно-доплеровской анемометрии при работе с частицами субмикронных размеров; не пояснен метод турбулизации смеси в

экспериментальной установке; отсутствует аргументация целесообразности выбора кубической формы инертных тел для сушилки с виброкипящим слоем; не обоснована продолжительность выдержки смеси на стадии зародышеобразования; не выглядят безупречными доводы в пользу предполагаемого разрушения кристаллических структур механическим воздействием циркуляционного насоса;

- в литературном обзоре имеются недостаточно обоснованные (а в ряде случаев - даже ошибочные) утверждения: при описании ионообменного метода умягчения - оценки качества умягченной воды, рабочей обменной емкости ионитов, рисков образования гидроксида кальция, размеров капитальных затрат и сложности эксплуатации; при описании нанофильтрации - не указаны ограничения селективности по катионам, не отмечено влияние молекулярного веса вещества на задерживающую способность мембран; не отмечено влияние содержания взвесей и характеристик присутствующих в них частиц на удельную производительность микрофильтрационных мембран;

- предложенная автором модель процесса кристаллизации отличается от классических гипотез: не учтена электронейтральность растворов электролитов; сомнительно утверждение об агрегации зародышей; спорны предположения о росте кристаллов за счет нейтральных молекул, а не ионов; не обосновано включение явления коагуляции в процесс кристаллизации; бездоказательно утверждение о встраивании избыточных ионов в растущий кристалл с формированием потенциалообразующих центров.

Перечисленные выше недостатки носят частный характер, не затрагивают экспериментальную часть и нисколько не влияют на общую положительную оценку рассматриваемой диссертации, представляющей завершённое исследование, на основании которого диссертантом сделаны выводы, не вызывающие сомнений.

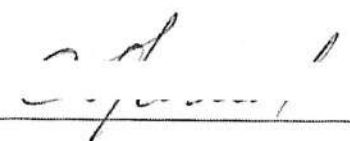
Заключение

Диссертационная работа Со Тхурейн на тему «Реагентно-мембранное разделение многокомпонентных водных растворов», соответствует паспорту научной специальности 2.6.15. Мембраны и мембранная технология в п.5 «Комбинированные и гибридные процессы мембранной технологии (сочетание мембранных процессов с другими процессами химической технологии)», п. 6 «Применение мембранных процессов в промышленности, охране окружающей среды и медицине, в том числе решение проблем водного

хозяйства, разделения жидких и газовых смесей, выделения ценных или токсичных компонентов из сточных вод и газовых выбросов, использование процессов и устройств для поддержания жизнедеятельности человека» и п. 7 «Изучение особенностей мембранных систем, таких как концентрационная поляризация, засорение и старение мембран и методов борьбы с этими явлениями».

Диссертация Со Тхурейн отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103 ОД, а диссертант заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Громов Сергей Львович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры Теоретических основ теплотехники им. М.П.Вукаловича Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»



подпись

04.06.2025

дата

Подпись доцента кафедры Теоретических основ теплотехники им. М.П. Вукаловича ФГБОУ ВО НИУ МЭИ Громова С.Л. удостоверяю:

Ученый секретарь Ученого совета
ФГБОУ ВО НИУ МЭИ



Зовлев И.В.